中美生物能源发展战略的比较研究

指导老师：龚强

Directed By: Qiang Gong

学校：人大附中

School：The High School Affiliated to Renmin University of China

参赛学生：丁泽鹏 陆宇鹏 荣之昊[1]

Students： Zepeng DING Yupeng LU Zhihao RONG

2013 年 8 月

August. 2013

[1] 参赛学生对文章做出了同样的贡献。姓名按字母排序。

摘要

随着经济的发展和技术的进步，各国对能源的需求日益增大，而传统的化石能源日益枯竭，因此开发新的可再生能源成为当今世界各国关注的焦点。生物燃料作为可再生能源的一个重要子类，具有可替代性、能大规模开发等特征，利于解决能源危机、保护环境以及带动相关产业的发展。然而，生物燃料的大规模生产将消耗大量的粮食，可能导致粮食价格大幅提升，甚至引发严重的粮食安全问题，因而成为经济发展的一把双刃剑。本文通过建立生物燃料的供给需求模型，具体分析了生产生物燃料对粮食价格的影响，并对近年来中美两国生物能源的发展进行了实证研究。通过比较得出，生物燃料的发展须结合自身的国情国力：美国由于拥有较丰裕的闲置耕地，发展生物能源不仅能够缓解能源需求，而且能够提高农民收益，并节约政府对闲置耕地的财政补贴；然而，利用数值模拟对中国的分析表明，大规模发展生物燃料会提高当期粮价 30%，5 年后粮价翻倍。粮价过高将严重损害国民利益，对经济发展产生显著的不良影响。因此，中国在不具备耕地资源优势的情况下，不应盲目大规模发展生物燃料。

关键词：生物燃料　　粮食安全　中美对比分析　供给需求模型

Abstract

With the rapid economic growth and technology improvement, the demand for energy have been increasing quickly. The conventional fossil fuel resource are become less and less. The renewable energy has been a important issues. Biofuel, a crucial subclass of the renewable energy, distinguish itself from others since it is suitable for mass-production, thus it is a practical substitute for crude-oil. Furthermore, it has great potential to solve the energy crisis, conserve the environment, and encourage the development of related industries. But, because of its huge consumption of corps, adopting biofuel enormously becoming a double-edged sword which may increases the price of crops greatly and even cause food safety problems. In this paper, we use supply-demand model to analyze the effects of biofuel on food prices. Then, we give relate numerical analysis based on the real data of China and US. We show that: the development of biofuel should match the national conditions. Because United Stated has more resting farm lands, adopting biofuel enormously can not only mediate the needs for energy but also improve profits of farmer and save the financial budget of encouraging farmers to keep enough lands resting. Different from United States, if China develops the biofuel enormously, prices of corps will increase at 30 percent immediately and at 100 percent 5 years later. Excessively increasing prices will hurt citizen, exerting negative influence on economic development. In this way, considering the lack of farm lands, China should not develop biofuel in a large scale without control.

Key Words: Biofuel, Food safety, Supply-demand Model, China-US comparison analysis.

目录

摘要 2
Abstract 2
一、引言及相关文献 4
二、模型分析 7
（一）生物燃料出现前的粮食市场与燃料市场 8
（二）生物燃料的规模生产对中国的影响 9
（三）生物燃料的规模生产对美国的影响 11
三、数值分析 13
（一）数据说明 13
（二）发展生物燃料对中美两国油价的影响 14
（三）发展生物燃料对中美两国粮价的影响 14
（四）发展生物燃料对人们生活的影响 16
（五）美国已使用耕地面积的变化 16
四、总结 17
参考文献 19
附录 20

一、引言及相关文献

随着人类工业化的脚步不断加快，世界原油储量极具下降，加之所引起的严重的环境问题，使人们迫切希望找到一种可替代石油、煤炭等化石能源的再生能源、清洁能源。日益严重的化石能源问题，使得越来越多的国家将发展生物能源作为其能源发展战略[2]。然而，是否对于所有国家而言，都应该大力推广生物能源？如果答案是否定，那么决定一国生物能源发展战略的关键因素又是什么？本文将基于数理经济学的理论框架，考察不同国家推广生物能源战略的有效性及其决定因素。

在国际能源市场上，生物燃料（如乙醇）已经成为传统化石能源的主要替代品[3]。经过数年的发展，生物燃料技术不断成熟，越来越多的生产者（如汽车制造商）开始利用生物燃料技术。图 1 和图 2 展示了 1982 年至 2010 年间的石油价格与主要生物燃料乙醇的价格走势。可以明显看出，乙醇价格与石油价格具有显著的正相关关系，两者价格同向波动，这表明，以乙醇为代表的生物燃料已经是石油等传统化石能源的重要替代。生物燃料对石油的替代作用能够平滑后者的价格波动，为各国经济发展提供更多的能源支持。然而，生物燃料的发展，使得非能源农作物的生产受到抑制，也使得原本无较强联系的能源市场与粮食市场成为紧密的一体，进而产生了潜在的粮食安全问题。

生物能源的推广会对粮食安全产生深远的影响。在土地的利用上，生物能源的推广，将造成生物能源农作物与非生物能源农作物之间的选择冲突。生物能源的发展将引起玉米、番薯等能源农作物的价格上涨，促使农户在有限的土地上更多地种植生物燃料的农作物。过多的种植能源作物，必然会严重挤占非能源作物的耕地，导致非能源作物的种植面积的缩减。

---

[2]生物燃料（biofuel）、生物能源、生物质能源、生物质能，几个概念在国内经常通用。生物燃料一般指液态的生物燃料，即乙醇和生物柴油。生物燃料按提取技术和使用原料的不同有第 1 代和第 2 代之分。第一代生物燃料是指以糖料或淀粉作物为原料生产乙醇或以油料作物为原料生产生物柴油，这也是目前已实现产业化发展的生物燃料。第二代生物燃料指以纤维素或木质素为原料生产乙醇，但目前尚处于技术开发阶段。

[3] 生物燃料自 20 世纪 70 年开始，在美国、欧洲、巴西等国推广，目前美国为世界第一大生物燃料生产国。美国卡特政府在 1978 年颁发《能源税法》通过 100%减免混合乙醇汽油的燃料税来鼓励使用生物燃料。2005 年美国乙醇产量超过巴西，成为全球第一大乙醇生产国。并计划在 2022 年产量超过 360 亿加仑。目前，北美地区用于生产生物能源的土地有 1747.965*10000）hm*m，约为耕地总面积的 8.11% 。2007 年布什的《国情咨文》中再次提出到 2017 年，美国至少会有 350 亿加仑的代替燃料。

如果能源作物的种植比例过大，非能源粮食的供应将发生严重不足，粮食价格急剧增长，从而引发严重的粮食安全问题。

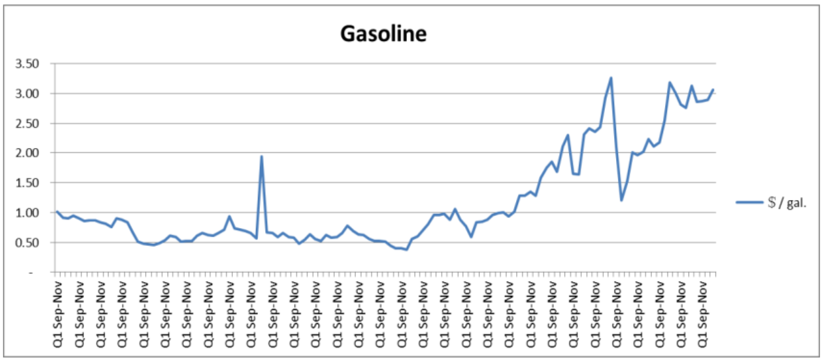

图 1：石油价格 1982 年至 2010 年折线图

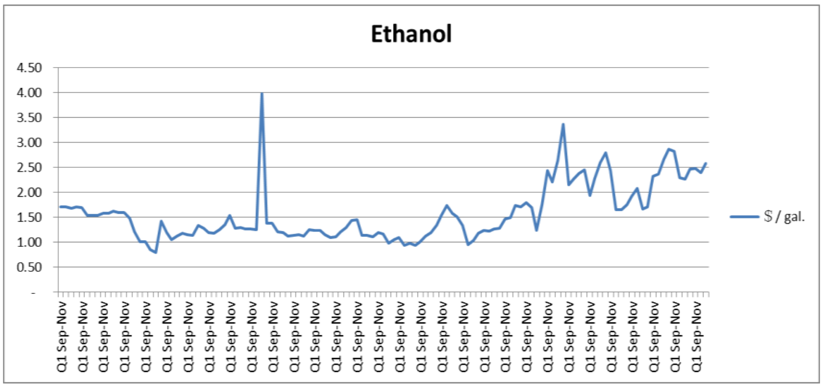

图 2：乙醇价格 1982 年至 2010 年折线图

发展生物燃料不仅使得粮食价格和粮食供给扭曲，也使得粮食市场与石油市场产生紧密的联系，石油价格的波动有可能传导至粮食市场。在生物燃料技术出现之前，石油市场与粮食市场并无特别紧密的内在联系，两个市场基本上独立运转。然而，这一状况随着生物燃料技术的出现而发生改变。当石油价格上涨时，由于生物能源对石油能源的替代性，能源市场对生物能源的需求增加，生物燃料价格上涨。而生物燃料价格的上涨，将带动生物燃料的原材料——能源作物——的需求增加，从而引发粮食价格上涨。最终，石油价格的上涨传导至粮食价格上，石油的稀缺促使更多的粮食转化为生物燃料，真正用于食用的粮食供给减少，产生了潜在的粮食安全问题。

本文将基于以上思路，考察不同国家推行生物能源战略的可行性及其决定因素。我们将

重点分析中国和美国这两个能源消耗大国。

研究发现，耕地稀缺是我国发展生物燃料面临的主要瓶颈。根据土地变更调查，到2006年10月31日，中国的耕地面积为18.27亿亩，10年间中国的耕地少了1.24亿亩，人均耕地面积也由1.59亩降到1.39亩。而这几年我国大量的房地产项目开发和工业园区建设，侵占了不少耕地，使得我国土地资源基本没有空余。在粮食供应方面，中国也出现诸多问题。近年，我国农产品需求总量刚性增加，消费结构快速升级，使粮食安全供给任务艰巨。在2008年，我国粮食贸易出现逆差，中国已成为世界上最大的小麦、玉米、鸡肉、猪肉的进口国。至2012年，中国几乎所有大宗农产品都处于从国外市场进口的状况。

耕地的稀缺导致我国目前并不具备大规模发展生物燃料所需的土地条件。在耕地稀缺的情况下，如果大规模发展生物燃料，能源作物将大规模地挤占非能源作物的耕地面积，导致非能源粮食供应的急剧减少，随之而来的必然是这些粮食的短缺和粮价的迅速增长。伴随着严重的通货膨胀，居民生活和企业生产成本快速增加，生物能源不仅未能有效推动经济发展，反而成为阻碍经济发展的因素。特别的，如果在现阶段大力推广生物燃料，当出现原油价格急剧上涨的情况时，国内粮食市场将发生强烈的联动效应，粮食价格会随着原油价格的上涨而上涨。我国耕地的稀缺性决定了我国短期内暂不具备抵御外部价格冲击对国内粮食安全的影响。

研究进一步表明，美国具有发展生物燃料的土地优势，有条件在防止粮食危机的情况下大力推广生物燃料。长期以来，美国政府为了保持农产品价格，对闲置耕地进行补贴，这使得美国能够存有较为丰裕的闲置土地，这些土地能够用于种植生物燃料的原料（如玉米），为发展生物燃料提供了有利的土地条件。当美国政府计划推动生物燃料的发展时，可以减少对闲置耕地的补贴，此时大量生产者将投入到农产品的生产中，粮食总供给增加。在新增加的粮食供给中，一部分转化为生物燃料的生产，为发展生物燃料提供了充裕的资源；另一部分进入粮食市场，有效抑制了由于发展生物燃料而导致的粮食价格上涨，使得粮食价格水平不会因生物燃料的发展而产生剧烈波动。

随着生物能源的普及与推广，越来越多的研究开始关注发展生物能源对粮食安全和社会福利的影响。仇焕广（2009）认为生物燃料乙醇发展提高了对能源作物需求，且通过增加农产品与石油两个市场的联系，使粮食价格紧随能源市场价格而波动。吴方卫等（2009）运用系统仿真模型得出结论：在燃料乙醇发展规模较小的阶段，生物燃料乙醇对各社会阶层恩格尔系数影响很小，但随着燃料乙醇规模的扩大，对低收入阶层的生活影响加大。陈瑜琦等

（2010）认为生物能源占用耕地面积不断增加，且带来了土地利用类型和农作物种植类型之间的冲突。邵飞（2011 年）认为城镇居民和农村居民的玉米食用价格弹性分别为-0.32 和-0.01。玉米作为农产品，供给价格弹性、需求价格弹性和需求收入弹性都不大。王文平等（2007）的研究结果显示，我国能源需求弹性系数在 0.5 左右，这说明能源需求是缺乏弹性的。Birur，Hertel& Tyner（2007）研究了生物能源发展对全球粮食市场的影响。Ohga 和 Koizumi（2007）阐述了中国、马来西亚和日本等亚洲国家的生物燃料政策给世界农业和生物燃料全球贸易带来的影响。Woltjer 等（2007）以欧盟为例，应用 GTAP-E 模型研究生物能源作物的种植，研究结论表明，生物燃料的发展增加了农民收入，但也导致了农产品价格的上涨。

不同于这些文献，本文发现，不同国家由于经济基础、土地资源、财政环境等方面不尽相同，一些国家可能适宜大规模推广生物能源，而另外一些国家并不具备大规模发展生物能源的有利条件。本文基于粮食市场和能源市场的理论框架，考察发展生物燃料如何使得粮食市场与能源市场产生联动效应，并探讨了推广生物燃料对粮食和能源在价格和产量上的影响。本文发现，美国拥有丰裕的闲置耕地，能够在大力发展生物能源的同时，保持粮食价格的平稳，并通过发展生物能源节约财政支出。然而，中国由于耕地稀缺，如果在现阶段大力推动生物能源发展，很可能引起粮食短缺和严重的通货膨胀，不仅生物能源战略难以成功，更可能阻碍经济的长远发展。

二、模型分析

首先，我们分别考察生物燃料出现之前粮食市场与燃料市场的情况。为简化模型，我们不考虑粮食和燃油的进出口。文中符号设定见表 1：

表 1　符号设定

q_f^s	粮食的供给量
q_f^q	粮食的需求量
p_f	粮食的价格

m_i	已使用耕地面积，$i=a$表示美国，$i=c$表示中国
M_i	最大耕地面积，$i=a$表示美国，$i=c$ 表示中国
$q_o{}^s$	化石燃料的供给量
$q_o{}^q$	化石燃料的需求量
p_o	化石燃料的价格
$q_b{}^s$	生物燃料的产量

（一）生物燃料出现前的粮食市场与燃料市场

1.粮食市场

生物燃料出现前，粮食的供给可以由下式表述：

$$q_f{}^s(p_f)=m_i k_f p_f \tag{1.1}$$

$\frac{\partial q^s{}_f}{\partial p_f}=m_i k_f>0$ 这意味着随市场价格上升，粮食的供给增加。

接下来，我们考察中美两国的农业政策，可以发现：对于中国，耕地面积已接近饱和，可认为m_c=M_c；然而美国因政府对农业补贴的政策，仍有闲置的耕地，即$m_a<M_a$。

粮食的需求：

$$q_f{}^q(p_f)=\alpha_f-\beta_f p_f \tag{1.2}$$

$\frac{\partial q^q{}_f}{\partial p_f}=-\beta_f<0$这意味着随市场价格上升，粮食的需求减少。

粮食市场在价格的调节下，达到平衡，此时供给与需求相等，即$q_f{}^q(p_f)=q_f{}^s(p_f)$。联立(1.1)(1.2)两式，我们有：

性质 1

在市场均衡条件下，粮食价格为$\bar{p}_f=\frac{\alpha_f}{m_i k_f+\beta_f}$，粮食产量为$\bar{q}_f=\frac{m_i k_f \alpha_f}{m_i k_f+\beta_f}$。

可以看到，粮食的总需求量上升即α_f增大会推高粮价；已使用耕地面积m_i的扩大会抑

制粮价的上涨，当粮食需求变动不大，即 β_f 较小时，耕地因素的作用尤为明显。

2.燃料市场

燃料的供给：$q_o{}^s(p_o) = k_o p_o$ (1.3)

$\frac{\partial q^s{}_o}{\partial p_o} = k_o > 0$ 表示随价格上升，燃料的供给增加。

燃料的需求： $q_o{}^q(p_o) = \alpha_o - \beta_o p_o$ (1.4)

$\frac{\partial q^q{}_o}{\partial p_o} = -\beta_o < 0$ 随市场价格上升，燃料的需求减少。

燃料市场在价格的调节下，达到平衡，此时供给与需求相等，即 $q_o{}^q(p_o) = q_o{}^s(p_o)$。联立(1.3)(1.4)两式，我们有：

性质 2

在市场均衡条件下，燃料价格 $\overline{p}_o = \frac{\alpha_o}{k_o + \beta_o}$，燃料产量 $\overline{q}_o = \frac{k_o \alpha_o}{k_o + \beta_o}$。

当市场需求增加，即 α_o 增大，油价 p_o 上涨；当 β_o 增大，即消费者拥有更多对燃油消费的替代选择（比如油价过高时选择步行而非开车），油价上涨受到抑制。

接下来，我们考察生物燃料的出现对粮食市场和燃料市场造成的影响。因中美国情差别较大，我们分别加以讨论。

（二）生物燃料的规模生产对中国的影响

1.生物燃料市场

生物燃料的供给：$q_{cb}{}^s(p_{co}) = k_{cb}(p_{co} - \lambda p_{cf})$ (2.1)

我们将生物燃料视为传统化石燃料的替代，假设两者价格相等。用λ表示粮食转化为生物燃料的成本系数。$\frac{\partial q_{cb}{}^s}{\partial (p_{co} - \lambda p_{cf})} = k_{cb} > 0$ 意味着当燃料价格与生产生物燃料成本间利差增加，生物燃料的供给增加。

生物燃料的需求：由于生物燃料与已有化石燃料相比，占市场份额小，加之政府鼓励使用等因素，我们假定生物燃料的产量始终被市场完全消耗。

2.中国的燃料市场

燃料的供给：$q_{co}{}^{s}(p_{co})=k_{co}p_{co}$ (2.2)

燃料的需求：$q_{co}{}^{q}(p_{co})=\alpha_{co}-\beta_{co}p_{co}-q_{cb}$ (2.3)

可以看到，因生物燃料的进入，在同一价格下，化石燃料的需求减少。

3.中国的粮食市场

粮食的供给：$q_{cf}{}^{s}(p_{cf})=m_{c}k_{cf}p_{cf}-\lambda^{'}q_{cb}$ (2.4)

其中$\lambda^{'}=\frac{1}{\lambda}$表示生产一单位生物燃料所需粮食的数量。同时可以发现，因生物燃料的进入，同一价格下，粮食对消费者的供给减少。

粮食的需求：$q_{cf}{}^{q}(p_{cf})=\alpha_{cf}-\beta_{cf}p_{cf}$ (2.5)

因中国的耕地面积已经达到饱和，即$m_c=M_c$，市场无法增加粮食供给。此时，燃料，粮食市场分别在价格的调节下达到平衡，有$q_{co}{}^{q}(p_{co})=q_{co}{}^{s}(p_{co})$，$q_{cf}{}^{q}(p_{cf})=q_{cf}{}^{s}(p_{cf})$。联立(2.1)-(2.5)五式，得到：

性质 3

在市场均衡条件下:

粮食价格$P_{cf}=\frac{\alpha_{cf}\lambda(k_{cf}+\beta_{co}+k_{cb})+k_{cb}\alpha_{co}}{\lambda[(M_{c}k_{cf}+\beta_{cf}+k_{cb})(k_{co}+\beta_{co}+k_{cb})-k_{cb}{}^{2}]}$

粮食产量$q_{cf}=\frac{\alpha_{cf}\lambda[(k_{co}+\beta_{co}+k_{cb})(M_{c}k_{co}+k_{cb})-k_{cb}(\alpha_{co}+k_{cb})]}{\lambda[(M_{c}k_{co}+\beta_{cf}+k_{cb})(k_{co}+\beta_{co}+k_{cb})-k_{cb}{}^{2}]}$

燃料价格$p_{co}=\frac{\alpha_{co}(M_{c}k_{cf}+\beta_{cf}+k_{cb})+\lambda\alpha_{cf}k_{cb}}{(M_{c}k_{cf}+\beta_{cf}+k_{cb})(k_{co}+\beta_{co}+k_{cb})-k_{cb}{}^{2}]}$

燃料产量$p_{co}=\frac{k_{co}\alpha_{co}(M_{c}k_{cf}+\beta_{cf}+k_{cb})+\lambda\alpha_{cf}k_{cb}k_{co}}{(M_{c}k_{cf}+\beta_{cf}+k_{cb})(k_{co}+\beta_{co}+k_{cb})-k_{cb}{}^{2}]}$

生物燃料产量$q_{cb}=\frac{\alpha_{co}k_{cb}(M_{c}k_{cf}+\beta_{cf})-k_{cb}{}^{2}\alpha_{co}}{(M_{c}k_{cf}+\beta_{cf}+k_{cb})(k_{co}+\beta_{co}+k_{cb})-k_{cb}{}^{2}]}$

通过对比生物燃料进入前后的粮价，我们有：

推论 1

中国无法通过扩大耕地面积来增加粮食供给。因此，当生物燃料进入后，粮价会直接上涨，令$\eta=\frac{P_{cf}}{\overline{\overline{P_{cf}}}}$，则涨幅$\eta=\frac{M_c k_{cf}+\beta_{cf}[\alpha_{cf}\lambda(k_{co}+\beta_{co}+k_{cb})+k_{cb}\alpha_{co}]}{\lambda\alpha_{cf}[(M_c k_{cf}+\beta_{cf}+k_{cb})(k_{co}+\beta_{co}+k_{cb})-k_{cb}{}^2]}$。

当燃料的需求逐年递增，为了简化，我们令${\alpha_{co}}^t=\alpha_{co}(1+a)^t$，因为生物燃料的传导作用，粮食价格也会上升。

推论 2

当燃料需求以a的速度增长，则粮食价格会在$\overline{t}=\log_{1+a}(\frac{\alpha_{cf}\lambda(k_{cf}+\beta_{co}+k_{cb})}{k_{cb}\alpha_{co}}+2)$年后翻一番。

可见规模生产生物燃料对我国的粮食安全会造成重大威胁。

（三）生物燃料的规模生产对美国的影响

1.生物燃料市场

生物燃料的供给：${q_{ab}}^s(p_{ao})=k_{ab}(p_{ao}-\lambda p_{af})$ (3.1)

类似地，我们有$\frac{\partial {q_{ab}}^s}{\partial(p_{ao}-\lambda p_{af})}=k_{ab}>0$即当燃料价格与生产生物燃料成本间利差增加，生物燃料的供给增加。

同时，我们假定生物燃料的产量始终被市场完全消耗。

2.美国的燃料市场

燃料的供给：${q_{ao}}^s(p_{ao})=k_{ao}p_{ao}$ (3.2)

燃料的需求：${q_{ao}}^q(p_{ao})=\alpha_{ao}-\beta_{ao}p_{ao}-q_{ab}$ (3.3)

可以看到，和中国市场一样，生物燃料的进入导致同一价格下化石燃料的需求减少。

3.美国的粮食市场

粮食的供给: ${q_{af}}^s(p_{af})=m_a k_{af}p_{af}-\lambda' q_{ab}$ (3.4)

其中$\lambda'=\frac{1}{\lambda}$表示生产一单位生物燃料所需粮食的数量。同时可以发现，因生物的进入，同一价格下对消费者的供给减少。

粮食的需求: ${q_{af}}^q(p_{af})=\alpha_{af}-\beta_{af}p_{af}$ (3.5)

由于美国尚有闲置的耕地，即$m_a < M_a$。因此，当生物燃料的大规模生产造成粮食供给不足时，政府可以通过减少农业补贴来增加耕地面积，从而扩大粮食供给，维持粮价稳定。使$p_{af} = \bar{p}_{af} = \dfrac{\alpha_{af}}{m_a k_{af} + \beta_{af}}$。联立(3.1)-(3.5)五式，我们有：

性质 4

在燃料市场与粮食市场同时均衡的条件下，

增加后的耕地面积 $m_a^{'} = m_a + \dfrac{\alpha_{ao} k_{ab}(m_a k_{af} + \beta_{af}) - \lambda \alpha_{af} k_{ab}(k_{ao} + \beta_{ao})}{\lambda k_{af} \alpha_{af}(k_{ao} + \beta_{ao} + k_{ab})}$

粮食需求 $q_{af} = \dfrac{m_a k_{af} \alpha_{af}}{m_a k_{af} + \beta_{af}}$

燃料价格 $p_{ao} = \dfrac{\alpha_{ao}(m_a k_{af} + \beta_{af}) + \lambda k_{ab} \alpha_{af}}{(m_a k_{af} + \beta_{af})(k_{ao} + \beta_{ao} + k_{ab})}$

燃料产量 $q_{ao} = \dfrac{\alpha_{ao} k_{ao}(m_a k_{af} + \beta_{af}) + \lambda \alpha_{af} k_{ab} k_{ao}}{(m_a k_{af} + \beta_{af})(k_{ao} + \beta_{ao} + k_{ab})}$

生物燃料产量 $q_{ab} = \dfrac{\alpha_{ao} k_{ab}(m_a k_{af} + \beta_{af}) - \lambda \alpha_{af} k_{ab}(k_{ao} + \beta_{ao})}{(m_a k_{af} + \beta_{af})(k_{ao} + \beta_{ao} + k_{ab})}$

可以发现，美国对粮食价格的调控也是有限的，当使用耕地达到最大耕地面积时，生物燃料的继续发展也将使得粮价提高。

推论 3

当耕地使用面积满足$m_a^{'} = m_a + \dfrac{\alpha_{ao} k_{ab}(m_a k_{af} + \beta_{af}) - \lambda \alpha_{af} k_{ab}(k_{ao} + \beta_{ao})}{\lambda k_{af} \alpha_{af}(k_{ao} + \beta_{ao} + k_{ab})} < M_a$,粮食价格会保持稳定，即$p_{af} = \bar{p}_{af} = \dfrac{\alpha_{af}}{m_a k_{af} + \beta_{af}}$。

假设燃料的需求逐年递增，为了简化，我们令$\alpha_{co}^{\,t} = \alpha_{co}(1+a)^t$，耕地的使用面积也会逐年增长。

推论 4

在假定燃料需求的增长速度为a时，如果继续开发生物燃料，美国耕地会在

$$\hat{t}=\log_{(1+a)}[\frac{\lambda k_{af}\alpha_{af}(k_{ao}+\beta_{ao}+k_{ab})(M_a-m_a)}{\alpha_{ao}k_{ab}(m_a k_{af}+\beta_{af})-\lambda\alpha_{af}k_{ab}(k_{ao}+\beta_{ao})}]$$ 年后用尽。

三、数值分析

本部分我们结合理论模型，分别模拟中国和美国在发展生物燃料以后粮食市场和燃油市场的动态变化。进一步，我们结合历史数据，估计模型中的各参数值，利用数学软件 Matlab 对模型进行数值分析，探讨生物燃料对燃油市场和粮食市场的冲击。

（一）数据说明

根据查阅到的相关数据，中国的耕地面积为 18.26 亿亩，美国的耕地的面积为 29.6 亿亩。由模型假设，对于中国，有 $m_c=M_c=1.826$；对于美国，我们假定当前仅有 50%的耕地在使用，有 $1.48=m_a<M_a=2.96$。除了耕地面积对粮食供给影响之外，人口数量也是不可忽视的因素。不失一般性，我们假定 $k_{af}=1$，$k_{cf}=\frac{\text{美国的人口}}{\text{中国的人口}}=0.2313$

假定燃料的需求是逐年增加的，我们根据两国油价（国内汽油）变化的历史数据（2000-2011），我们估算出两国燃料的增长率分别为：$a_c=15.86\%,a_a=13.46\%$。

公开资料显示，一吨玉米能生产 0.317 吨乙醇，我们不妨取 $\lambda=3.1546$。由于美国居民因为有更广泛的食物选择，因此粮食的替代性较大，经济学家曾根据消费者的平均支出形式估算了美国粮食需求的弹性在 0.5 左右，即 $\beta_{af}=0.5$；为以示区别，我们不妨设定中国的粮食需求弹性为 0.4，即 $\beta_{cf}=0.4$。其他未说明变量均设为 1。

同时，我们给出基期（2011 年）中美两国的油价（汽油价格）和粮价（加权粮价）见表 2。

表 2　　　2011 年中美两国汽油价格和粮食价格对比表

单位：本国货币/Kg	粮价	油价
中国	2.0422	9.11333
美国	0.249596	1.089087

（二）发展生物燃料对中美两国油价的影响

由模型解得，发展生物燃料前，燃油的价格为：

$$\overline{p}_o = \frac{\alpha_o}{k_o + \beta_o}$$

发展生物燃料后，中国的油价为：

$$p_{co} = \frac{\alpha_{co}(M_c k_{cf} + \beta_{cf} + k_{cb}) + \lambda \alpha_{cf} k_{cb}}{(M_c k_{cf} + \beta_{cf} + k_{cb})(k_{co} + \beta_{co} + k_{cb}) - k_{cb}{}^2]}$$

美国的油价为：

$$p_{ao} = \frac{\alpha_{ao}(m_a k_{af} + \beta_{af}) + \lambda k_{ab} \alpha_{af}}{(m_a k_{af} + \beta_{af})(k_{ao} + \beta_{ao} + k_{ab})}$$

我们对以上三式代值计算，并进行标准化处理，即将基期油价设为 1，其他年份的油价做相应的调整，得到结果如图。

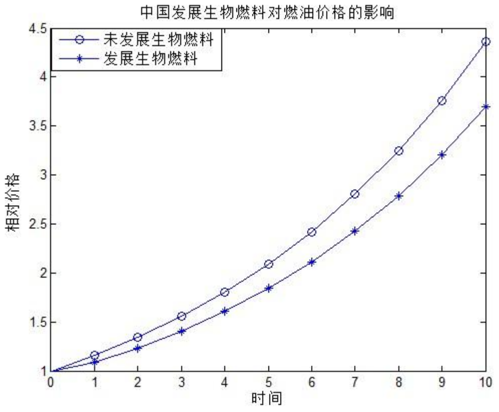

图 3

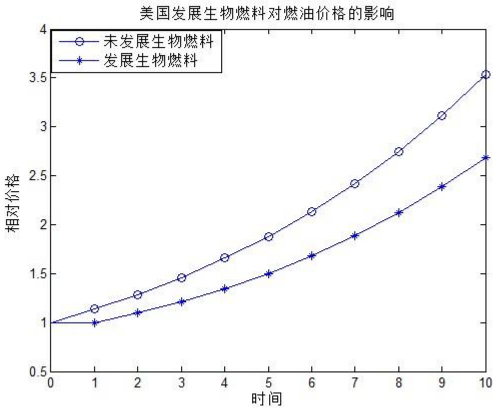

图 4

图 3 和图 4 分别表示中美两国在发展生物燃料前后燃料价格的走势。可以看到，中国发展生物燃油对于缓解高油价起到的作用有限，燃油价格增速仍然较快。然而，美国发展生物燃料则起到了明显的作用。可以看到，燃料价格在生物燃料出现后第一年停止上涨，甚至小幅下降，并且随时间推移，燃油价格增速明显放缓。

（三）发展生物燃料对中美两国粮价的影响

由模型解得：发展生物燃料后，中国粮食价格为

$$P_{cf}=\frac{\alpha_{cf}\lambda(k_{cf}+\beta_{co}+k_{cb})+k_{cb}\alpha_{co}}{\lambda[(M_c k_{cf}+\beta_{cf}+k_{cb})(k_{co}+\beta_{co}+k_{cb})-{k_{cb}}^2]}$$

美国政府能够在一定程度上扩大耕地使用面积，增加粮食产量，保持粮食价格稳定。但土地使用达到最大耕地面积后，粮价也会在市场价格机制的推动下上涨。我们有

$$\hat{t}=\log_{(1+a)}[\frac{\lambda k_{af}\alpha_{af}(k_{ao}+\beta_{ao}+k_{ab})(M_a-m_a)}{\alpha_{ao}k_{ab}(m_a k_{af}+\beta_{af})-\lambda\alpha_{af}k_{ab}(k_{ao}+\beta_{ao})}]$$

当$t\le\hat{t}$，美国粮食价格保持不变；当$t>\hat{t}$，粮价上涨，有

$$P_{af}=\frac{\alpha_{af}\lambda(k_{af}+\beta_{ao}+k_{ab})+k_{ab}\alpha_{ao}}{\lambda[(M_a k_{af}+\beta_{af}+k_{ab})(k_{ao}+\beta_{ao}+k_{ab})-{k_{ab}}^2]}$$

类似地，我们分别对两国的粮价进行标准化处理，代入数值，结果见图 6。

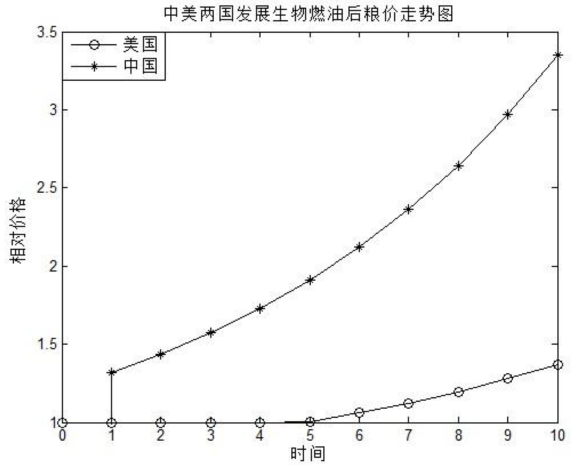

图 5

可以看到，在发展生物燃料后的第一年，中国粮价约有 30%的提升，随时间推移，粮食价格大幅上涨，约在第五年翻番。对于美国，粮价在前 4 年保持稳定，从第 5 年开始小幅增长，但增速缓慢。

为了重点考察粮价的变化，我们假定了不同的燃料需求增长率，并在各个增长率下求出了中美粮价的变化比率，见表 3。

表 3　　　　中国和美国不同燃油需求增长率下粮食价格比较

增长率 / 年限	5%	10%	历史增长率	15%	20%
1	1.2521，1	1.2837，1	1.3208，1	1.3154，1	1.3471，1
2	1.2853，1	1.3534，1	1.4372，1	1.4246，1	1.4991，1
3	1.3202，1	1.4300，1	1.5721，1	1.5503，1	1.6815，1
4	1.3569，1	1.5143，1	1.7283，1	1.6948，1	1.9004，1.0458
5	1.3954，1	1.6071，1	1.9093，1.0025	1.8609，1.0318	2.1630，1.1384
6	1.4358，1	1.7091，1	2.1190，1.0591	2.0520，1.0993	2.4783，1.2496
7	1.4782，1	1.8213，1.0178	2.3620，1.1233	2.2718，1.1768	2.8565，1.3831
8	1.5228，1	1.9447，1.0614	2.6435，1.1961	2.5245，1.2659	3.3104，1.5432
9	1.5696，1	2.0805，1.1093	2.9697，1.2787	2.8151，1.3685	3.8551，1.7354
10	1.6187，1	2.2298，1.1620	3.3476，1.3724	3.1494，1.4864	4.5087，1.9960

注：数据方格中，左侧为中国的粮食价格，右侧为美国的粮食价格；对于历史增长率，中国为 15.86%，美国为 13.46%。

（四）发展生物燃料对人们生活的影响

由以上分析，我们发现：对于中国，生物燃料的发展对于降低燃料的价格没有明显作用，反而会导致粮食价格却快速上涨，这对于人民生活极为不利。 通过查阅资料，我们得到中国近年来城镇居民家庭食品支出约占总支出的 38%；农村居民家庭食品支出约占总支出的 44%。假定燃料增长率为历史平均水平，五年内粮价的增幅为 190%（见表 2）。此时，城镇居民家庭食品支出会达到总支出的 54%，农村居民家庭食品支出会达到总支出的 60%，若持续发展生物燃料，之一比例还将持续提高。这将使得人们生活质量大大地降低。对于美国，粮食价格在五年内几乎保持平稳，同时，燃料价格的增长被成功遏制，人们的生活质量会得到提高。

（五）美国已使用耕地面积的变化

美国政府可以调整耕地面积来维持粮食价格的稳定，调整前后耕地面积的比例为：

$$p=\frac{m_a^{'}}{M_a}=\frac{m_a}{M_a}+\frac{\alpha_{ao}k_{ab}(m_a k_{af}+\beta_{af})-\lambda\alpha_{af}k_{ab}(k_{ao}+\beta_{ao})}{M_a\lambda k_{af}\alpha_{af}(k_{ao}+\beta_{ao}+k_{ab})},(p\le 1)$$

$p=1$意味着耕地使用已达最大面积，对应的时间为：

$$\hat{t}=\log_{(1+a)}[\frac{\lambda k_{af}\alpha_{af}(k_{ao}+\beta_{ao}+k_{ab})(M_a-m_a)}{\alpha_{ao}k_{ab}(m_a k_{af}+\beta_{af})-\lambda\alpha_{af}k_{ab}(k_{ao}+\beta_{ao})}]$$

代入数值进行计算，得到图 6。

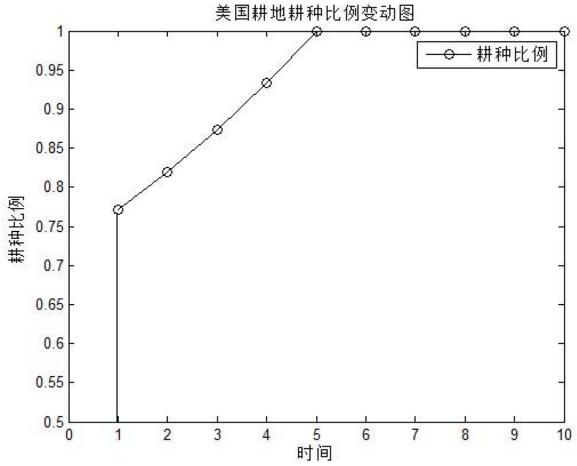

图 6

同时我们给出几个不同的燃料增长率，进而得到相应的美国耕地面积使用比例达到 100%的年限，见表 4。

表 4　　美国不同燃料需求增长率下粮食价格保持稳定的年限

燃料需求增长率	年限
5%	14
7%	9
8%	8
10%	6
13.46%	4
15%	4
20%	3

四、总结

开发生物能源是应对当前能源危机的一条重要途径。但如何有效地结合科学技术与国情国力，在不影响人们生活的前提下走可持续发展路线，则是施政者需重点考虑的问题。本文通过建立粮食市场和燃料市场的供给需求模型，并利用数值分析，对比了生物燃料出现前后粮食和燃料市场以及社会福利水平的变化。我们发现，中国在耕地使用面积已接近饱和的情况下，大规模发展生物能源会导致粮食价格的大幅攀升，但对于降低燃料价格收效甚微，这将极大地降低人们的生活水平。然而，美国因为拥有富余的耕地，发展生物能源不仅能够缓

解能源需求，而且能够显著提高农民收益，并节约政府对闲置耕地的财政补贴，可谓一举多得。本文分析表明，中国现阶段不应盲目效仿美国，进行生物能源的大规模开发。

在本文的基础上，我们还可以考察中美间进行粮食、燃料贸易对两国生物燃料发展的影响。另外，生物燃料发展在近几年出现新动向，即采用秸秆，木薯等作物代替粮食作为原料，但因没有进行规模化生产，故本文没有考虑。

参考文献

[1] 仇焕广、杨军、黄季焜，生物燃料乙醇发展及其对近期粮食价格上涨的影响分析[J] .《农业经济问题》，2009（1）：80-85.

[2] 吴方卫、沈亚芳、张锦华、许庆，生物燃料乙醇发展对中国粮食安全的影响分析[J] .《农业技术经济》，2009（1）：21-29.

[3] 陈瑜琦、李秀彬、盛燕、张雯，发展生物能源引发的土地利用问题[J] .《自然资源学报》，2010（9）：1496-1505.

[4] 邵飞、陆迁，基于 Nerlove 模型的中国不同区域玉米供给反应研究[J] .《经济问题》，2011（7）：73-76.

[5]王文平，能源需求弹性分析[J]，《能源技术与管理》，2007（4）：102-104.

[6] D Birur, T Hertel, W Tyner, 2008, Impact of Biofuel Production on World Agricultural Markets: A Computable General Equilibrium Analysis, GTAP Working Paper No. 53.

[7] Martin Banse, Hans van Meijl, 2008, Andrzej Tabeau and Geert Woltjer, Will EUBiofuel Policies Affect Global Agricultural Markets, *European Review of Agricultural Economics*, 35 (2): 117-141.

[8] T Koizumi, K Ohga, 2007, Biofuels Policies in Asian Countries: Impact of the Expanded Biofuels Programs on World Agricultural Markets, *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization*, 5(2).

附录

1、表 2 中国粮食价格计算结果的 Matlab 程序代码

```
function pf=foodprice(m，betaf，po，g，pfe，k，betao，alphaof，theta，lamda)
alpha0=(k+betao)*po;
alphaf=(m*theta+betaf)*pfe;
for n=1:10
alphao(n)=alpha0*(1+g)^(n);
end
pf=(lamda*alphaf*(k+betao+alphaof)+alphaof*(alphaof+alphao))/(lamda*(k+betao+alphao
f)*(m*theta+betaf+alphaof)-lamda*alphaof);
pf=pf/pfe;
```

2、表 2 美国粮食价格计算结果的 Matlab 程序代码

```
function [fpu，percent，tp]=foodpriceu(m，betaf，po，g，pfe，k，betao，alphaof，theta，
lamda)
alpha0=(k+betao)*po;%初始年份油价的需求
alphaf=(m*theta/2+betaf)*pfe;%初始年份粮价的需求，保持不变
for n=1:10
alphao(n)=alpha0*(1+g)^(n);
end
percent=(lamda*alphaf*(k+betao+alphaof)+alphaof*(alphaof+alphao))/(lamda*pfe*(k+bet
ao+alphaof)*m*theta)+alphaof/((k+betao+alphaof)*m*theta)-(betaf+alphaof)/(m*theta);
for i=1:9
    if percent(i+1)>1&&percent(i)<1
        tp=i;%共有i年粮价保持稳定
    end
end
tp;
```

```
for j=1:tp
    fpu(j)=pfe;%粮价保持稳定时
end
pf=(lamda*alphaf*(k+betao+alphaof)+alphaof*(alphaof+alphao))/(lamda*(k+betao+alphao
f)*(m*theta+betaf+alphaof)-lamda*alphaof);
for y=tp+1:10
    fpu(y)=pf(y);%粮价由市场开始调节
end
fpu=fpu/fpu(1);
```

3、图 3 和图 4 的 Matlab 程序代码

```
%%%oil price
fpu=foodpriceu(2.96，0.5，1.089087，0.1346，0.249596，1，1，1，1，3.1546);
fpc=foodprice(1.826，0.4，9.11333，0.1586，2.0422，1，1，1，3.116/13.4735，3.1546);
figure('color'，[1 1 1]);
opcb=oildemand(9.11333，0.1586)/2;%oil price in china before
opcb=opcb/9.11333;
opcb=[1 opcb];
opca=(oildemand(9.11333，0.1586)+3.1546*fpc*2.0422)/3;%oil price in china after
opca=opca/9.11333;%standard
opca=[1 opca];
opub=oildemand(1.089087，0.1346)/2;%oil price in usa before
opub=opub/1.089087;
opub=[1 opub];
opua=(oildemand(1.089087，0.1346)+3.1546*fpu*0.249596)/3;%oil price in usa after
opua=opua/1.089087;
opua=[1 opua];
plot(year，opcb，'-o')
hold on
```

```
plot(year，opca，'-*')
title('中国发展生物燃料对燃油价格的影响')；
legend('未发展生物燃料'，'发展生物燃料')；
figure('color'，[1 1 1])；
plot(year，opub，'-o')
hold on
plot(year，opua，'-*')
title('美国发展生物燃料对燃油价格的影响')；
legend('未发展生物燃料'，'发展生物燃料')；
```

4、图 5 的 Matlab 程序代码

```
fpu=foodpriceu(2.96，0.5，1.089087，0.1346，0.249596，1，1，1，1，3.1546)；
fpc=foodprice(1.826，0.4，9.11333，0.1586，2.0422，1，1，1，3.116/13.4735，3.1546)；
%%foodprice(m，betaf，po，g，pfe，k，betao，alphaof，theta，lamda)
fpu=[1，fpu]；
fpc=[1，fpc]；
year=[0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10]；%time
figure('color'，[1 1 1])；
plot(year，fpu，'-o')；
hold on
plot(year，fpc，'-*')；
title('中美两国发展生物燃油后粮价走势图')；
legend('美国'，'中国')；
axis([0 10 1 3.5])；
```

5、表 3 计算结果的 Matlab 程序代码

```
function alphao=oildemand(po，g)
alpha0=2*po；
for n=1:10
```

```
alphao(n)=alpha0*(1+g)^(n);
end
```

6、图 6 的 Matlab 程序代码

```
clc.clear
[fpu percent]=foodpriceu(2.96，0.5，1.089087，0.1346，0.249596，1，1，1，1，3.1546);
percent=[0.5，percent];
figure('color'，[1 1 1]);
plot(year，percent，'-o');
```